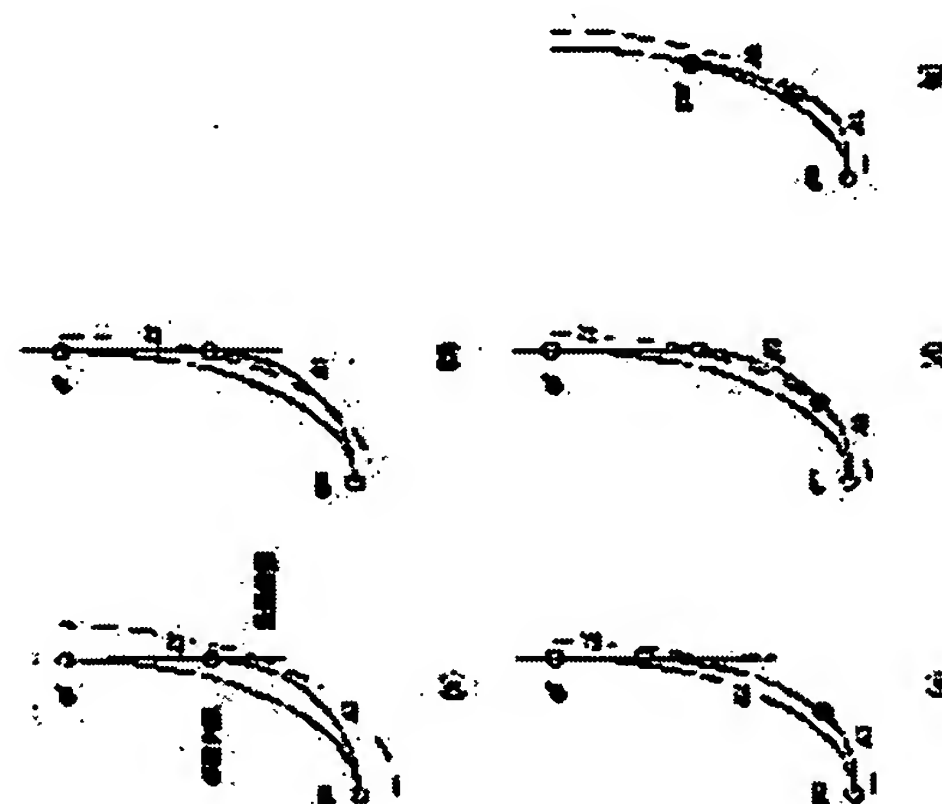


(11)Publication number : **2004-013797**
(43)Date of publication of application : **15.01.2004**

G05B 19/4103
G06F 17/50

(71)Applicant : KAWASAKI HEAVY IND LTD
(72)Inventor : KANBE MASAYUKI
YAGI EIICHI
MEGURO NOBORU
ADACHI SHIGEO
TAKAHARA SHUHEI

SOLUTION: This is a curve interpolation method which interpolates a given curve by an approximate circular arc group within the allowable amount of the tolerance. In addition, an approximate circular arc and an approximate segment line which are located between the curve to be controlled, designed and analyzed and another curve which is generated to have the maximum value of the allowable tolerance inside the curve are founded. Then, the approximation of the curve is made by the circular arc group and the segment line being within the allowable amount of the tolerance, and the approximate circular arc and/or segment line, which are/is approximate and smoothly connected, are/is generated so that the circular arc group and the segment line may have the same slope at a contact point. Further, the approximation is made with a concave circular arc or segment line in the concave area of the curve and with a convex circular arc or segment line in the convex area of the curve.



[Date of request for examination]	11.06.2002
[Date of sending the examiner's decision of rejection]	
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]	
[Date of final disposal for application]	
[Patent number]	
[Date of registration]	
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of extinction of right]	

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-13797

(P2004-13797A)

(43) 公開日 平成16年1月15日 (2004. 1. 15)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
G 0 5 B 19/4103	G 0 5 B 19/4103 A	5 B 0 4 6
G 0 6 F 17/50	G 0 6 F 17/50 6 2 2 A	5 H 2 6 9

審査請求 有 請求項の数 5 OL (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2002-170070 (P2002-170070)
(22) 出願日 平成14年6月11日 (2002. 6. 11)

(71) 出願人 000000974
川崎重工業株式会社
兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号
(74) 代理人 100076705
弁理士 塩出 真一
(74) 代理人 100107283
弁理士 塩出 洋三
(72) 発明者 掃部 雅幸
兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株
式会社明石工場内
(72) 発明者 八木 栄一
兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株
式会社明石工場内

最終頁に続く

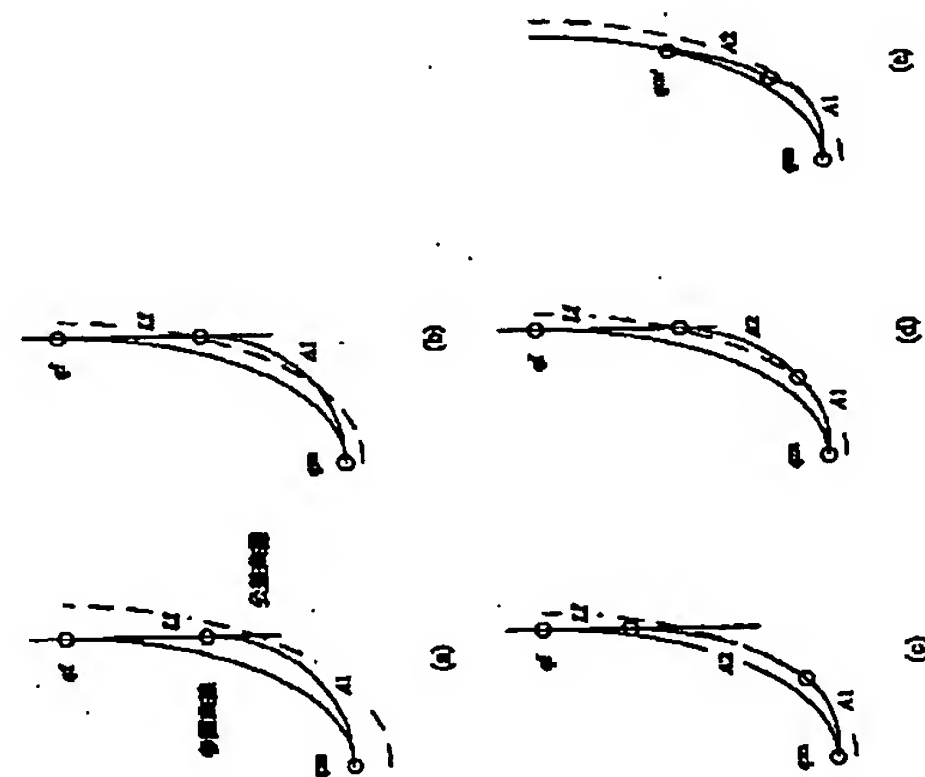
(54) 【発明の名称】 円弧による曲線補間方法並びに該方法を用いた数値制御装置、設計支援装置及び解析支援装置

(57) 【要約】

【課題】 公差の許容量を最大限に活かし、少ない補間点で能率的な補間を実現する。

【解決手段】 与えられた曲線を公差の許容範囲内で近似円弧群によって補間する曲線補間方法であって、制御・設計・解析の対象となる曲線と該曲線の内側で許容公差の最大値を有するように生成した曲線との間に入る近似円弧と近似線分を求めて、曲線を公差の許容範囲内にある円弧群と線分で近似し、これらの円弧群と線分が結合点で同じ傾きを持つように近似して滑らかに接続する近似円弧又は／及び線分を生成し、かつ、曲線の凹区域では凹の円弧又は線分で近似し、凸区域では凸の円弧又は線分で近似する。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

与えられた曲線を公差の許容範囲内で近似円弧群によって補間する曲線補間方法であって、前記与えられた曲線と該曲線の内側及び外側のいずれか一方で許容公差の最大値を有するように生成した曲線との間に入る近似円弧と近似線分を求めて、曲線を公差の許容範囲内にある円弧群と線分で近似し、これらの円弧群と線分が結合点で同じ傾きを持つように近似して滑らかに接続する近似円弧又は／及び線分を生成し、かつ、曲線の凹区域では凹の円弧又は線分で近似し、凸区域では凸の円弧又は線分で近似することを特徴とする円弧による曲線補間方法。

【請求項 2】

近似円弧として用いる曲線データが、一連の曲線データを分割した中の一部である請求項 1 記載の円弧による曲線補間方法。

【請求項 3】

工作機械やロボットを制御する数値制御装置において、制御対象となる曲線と該曲線の内側及び外側のいずれか一方で許容公差の最大値を有するように生成した曲線との間に入る近似円弧と近似線分を求めて、曲線を公差の許容範囲内にある円弧群と線分で近似し、これらの円弧群と線分が結合点で同じ傾きを持つように近似して滑らかに接続する近似円弧又は／及び線分を生成し、かつ、曲線の凹区域では凹の円弧又は線分で近似し、凸区域では凸の円弧又は線分で近似する曲線補間手段を設けたことを特徴とする円弧による曲線補間方法を用いた数値制御装置。

【請求項 4】

加工の寸法や形状の設計を行う設計支援装置において、設計対象となる曲線と該曲線の内側及び外側のいずれか一方で許容公差の最大値を有するように生成した曲線との間に入る近似円弧と近似線分を求めて、曲線を公差の許容範囲内にある円弧群と線分で近似し、これらの円弧群と線分が結合点で同じ傾きを持つように近似して滑らかに接続する近似円弧又は／及び線分を生成し、かつ、曲線の凹区域では凹の円弧又は線分で近似し、凸区域では凸の円弧又は線分で近似する曲線補間手段を設けたことを特徴とする円弧による曲線補間方法を用いた設計支援装置。

【請求項 5】

加工の寸法や形状の解析を行う解析支援装置において、解析対象となる曲線と該曲線の内側及び外側のいずれか一方で許容公差の最大値を有するように生成した曲線との間に入る近似円弧と近似線分を求めて、曲線を公差の許容範囲内にある円弧群と線分で近似し、これらの円弧群と線分が結合点で同じ傾きを持つように近似して滑らかに接続する近似円弧又は／及び線分を生成し、かつ、曲線の凹区域では凹の円弧又は線分で近似し、凸区域では凸の円弧又は線分で近似する曲線補間手段を設けたことを特徴とする円弧による曲線補間方法を用いた解析支援装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、工作機械やロボットなどの制御装置、さらには、加工の寸法や形状を設計する際の設計支援装置などにおいて、誤差が少なく能率の良い曲線補間が実現できる曲線補間方法に関するものである。

【0002】**【従来の技術】**

歯車の歯面の曲線は、インボリュート曲線、サイクロイド曲線、トロコイド曲線、ハイポイド曲線などに代表されるように、三角関数からなる複雑な数学式で表現されている。また、航空機の翼板やタービンのフィン、さらにはデザインの神秘性や美観を重視する製品においても、その形状を表現するのに数学式が利用されている。

現在市場に広く普及している工作機械やロボットにおいては、任意の数学式をそのまま制御装置に入力する機能を有したものはほとんど存在せず、曲線の加工が必要な場合、設計

10

20

30

40

50

者はその数学式で表された曲線を何らかの方法によって補間して、その補間点や補間パラメータのデータを制御装置に入力する必要がある。通常、最も頻繁に利用され、かつ、比較的簡単に補間点を生成することのできる方法は、線分による補間である。現在ではどんなに廉価な工作機械やロボットであっても、ツールを指定された2点間の線分に沿って動作させる機能は備えていると言える。しかしながら、例えば、歯車の加工の場合、一般に高精度な加工を必要とするため、線分による補間では多くの補間点が必要となり、結果として、設計費及び加工費が高つく。

【0003】

この課題を解決する手段として、特開2000-3212号公報には、トレランスの許容範囲を最大限に活用する近似線分を生成するという方法が開示されているが、補間点を大幅に減らす手段にはいたっていない。また、歯車のような角度やトルクを伝達する機構においては、理論値と加工値との公差をできるだけ小さくするだけでなく、補間を行う近似線同士を滑らかにつないでおかないと、トルクのリップル等を引き起こし、その歯車を部品とする機械自体の性能悪化につながる。

10

【0004】

このような線分補間の欠点を補う方法として、例えば、特開平10-240329号公報に記載されているようなスプライン曲線による補間方法、さらには、特開平10-228306号公報に記載されているようなNURBS曲線による補間方法、特開平6-162184号公報に記載されているようなベジエ曲線による補間方法、特開平6-259567号公報に記載されているようなクロソイド曲線による補間方法等が数多く提案されている。これらの補間方法は、現在機械加工の分野では一般化しつつあり、これらの補間機能を備えた工作機械も数多く存在する。しかし、それらは現存する工作機械の中でも比較的高価な部類のものであり、いかなる工作機械に対しても有効であるとは言えない。また、これらの曲線による補間は、それを専門とする設計者以外には馴染みが薄く、設計中の試行錯誤の段階や、設計終了後の第三者による検査の段階において、スムーズに作業を進めることができず、設計工程の遅延や検査ミスの発生にもつながる。

20

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

さて、一般の機械設計者が歯形などの曲線を設計する場合、円弧と線分を併用して補間を行っている。円弧は、先のスプライン曲線等に比べ、一般の設計者にとっても馴染み深いものであり、設計者本人にとっても、また検査を行う第三者にとっても、設計作業をスムーズに実施することができる。その補間の特徴は、曲線の凹凸が深い区域では円弧群で近似し、凹凸が浅い区域や、凹から凸へ、凸から凹へと変化する変曲点の付近では線分で近似し、それらの近似線間を滑らかに繋ぐ補間点を生成するものである。しかしながら、それら近似線の生成方法に規則性があるわけではなく、一般には設計者の経験や試行錯誤によって近似線を生成し、後に近似線が公差の許容範囲内にあるかを検証し、許容範囲内でない場合には、近似線の補間点を修正するか補間点を増やすなど、後ろ向きな設計が行われている。このような方法では、公差の許容を能率的に発揮できていないばかりか、円弧群と線分を滑らかに繋ぐ補間点を生成することは容易ではないため、試行錯誤を繰り返す工程に莫大な時間が必要となる。

30

40

【0006】

例えば、歯車の歯形曲線を補間する場合、理論曲線の凸区域では凸の円弧のみで、凹区域では凹の円弧のみでの補間が求められ、また、近似線の公差も+側、または、-側のいずれかの定められた側にしか持つてはいけないという仕様が求められることが多い。これら、設計者が感覚的に有している要求は、先のスプライン曲線やクロソイド曲線による補間方法をそのまま適用しただけでも、満足することができず、歯形曲線の有効な補間方法の構築は困難であった。

【0007】

本発明は上記の諸点に鑑みなされたもので、本発明の目的は、公差の許容範囲を最大限活用し、理論曲線の凹凸によって円弧の凹凸を一定にし、近似線の公差の符号も定められた

50

側に一定とする、曲線の円弧による補間方法を与え、従来の補間方式よりも少ない補間点で能率的な補間を実現することができる曲線補間方法を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】

例えば、歯車の歯形曲線を補間する上で、設計者が感覚的に有している仕様をまとめると、以下のようなになる。

- ▲1▼ 歯形曲線と近似曲線の誤差は公差の許容値以内である。
- ▲2▼ 近似曲線は歯形曲線に比べて、原則として、歯車の回転中心側に誤差を持つ。
- ▲3▼ 歯形曲線の凹区域では凹の円弧、または、直線で近似し、凸区域では凸の円弧、または、直線で近似する。
- ▲4▼ 隣合う、円弧同士、または、円弧と線分は、滑らかに結合する。

【0009】

ここで、設計対象となる歯形曲線を参照曲線と称し、また、この参照曲線上を、半径が許容公差の円の中心が辿るときに生成される二つの抱絡曲線のうち、歯車の回転中心側の曲線を公差曲線と称する。このとき、参照曲線の凹点から変曲点までを、参照曲線と公差曲線の間にある、結合点で同じ傾きを持つ凹の円弧群と変曲点を通り傾きが参照曲線の変曲点の傾きに等しい線分で近似し、参照曲線の凸点から変曲点までを、参照曲線と公差曲線の間にある、結合点で同じ傾きを持つ凸の円弧群と変曲点を通り傾きが参照曲線の変曲点の傾きに等しい線分で近似する。

歯形曲線を参照曲線と公差曲線の間にある円弧群と線分で近似すれば、仕様の▲1▼▲2▼を満たすことができる。また、それらの円弧群と線分が結合点で同じ傾きを持つよう近似すれば、仕様▲4▼を満たすことができる。さらに、参照曲線の凹点から変曲点までを、凹の円弧群と変曲点を通り傾きが参照曲線の変曲点の傾きに等しい線分で近似し、凸点から変曲点までを、凸の円弧群と変曲点を通り傾きが参照曲線の変曲点の傾きに等しい線分で近似すれば、仕様▲3▼を満たすことができる。

【0010】

すなわち、本発明の方法は、与えられた曲線を公差の許容範囲内で近似円弧群によって補間する曲線補間方法であって、前記与えられた曲線と該曲線の内側及び外側のいずれか一方で許容公差の最大値を有するように生成した曲線との間に入る近似円弧と近似線分を求めて、曲線を公差の許容範囲内にある円弧群と線分で近似し、これらの円弧群と線分が結合点で同じ傾きを持つように近似して滑らかに接続する近似円弧又は／及び線分を生成し、かつ、曲線の凹区域では凹の円弧又は線分で近似し、凸区域では凸の円弧又は線分で近似することを特徴としている。

上記の方法において、例えば、近似円弧として用いる曲線データは、一連の曲線データを分割した中の一部である。

また、本発明の装置は、数値制御装置、設計支援装置（CAD等）、解析支援装置などにおいて、上記の曲線補間方法を実施する機能を備えた構成とする。

【0011】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について説明するが、本発明は下記の実施の形態に何ら限定されるものではなく、適宜変更して実施することが可能なものである。歯形の参照曲線を $z_r(q) = (x_r(q), y_r(q))$ 、公差曲線を $z_t(q) = (x_t(q), y_t(q))$ と表現する。ここで q は、曲線変位に相当するパラメータである。また、点 q での曲線の傾きを、それぞれ、 $k_r(q)$ 、 $k_t(q)$ とする。 q_c を変曲点とする。

【0012】

凹区間の近似方法

$z_r(q)$ 、 $z_t(q)$ の凹区間を $\{q \mid [q_s, q_f]\}$ とし、区間 $\{q \mid [q_s, q_f]\}$ の近似は以下に従う。ただし、 $z_r(q_s)$ 、 $z_t(q_s)$ の曲率絶対値は、 $z_r(q_f)$ 、 $z_t(q_f)$ の曲率絶対値よりも小さいとする。

ステップ0： q_s を補間中間点 q_m とする。

ステップ1: $z_r(q_m)$ を通り、その点の傾きが $k_r(q_m)$ に等しい円弧 A 1 が、 $z_r(q_f)$ を通る傾き $k_r(q_f)$ の線分 L f と、参照曲線と公差曲線の間で接するならば(図1の(a))、区間 $\{q \mid [q_s, q_f]\}$ を一つの円弧 A 1 と一つの線分 L f で補間する。そうならないならば(図1の(b))、ステップ2に進む。

ステップ2: 円弧 A 1 が参照曲線と公差曲線の間が存在し、A 1 の終端で A 1 と滑らかに接続する円弧 A 2 が、線分 L f と参照曲線と公差曲線の間で接するならば(図1の(c))、区間 $\{q \mid [q_s, q_f]\}$ を二つの円弧 A 1, A 2 と一つの線分 L f で補間する。そうならないならば(図1の(d))、ステップ3に進む。

ステップ3: 円弧 A 1, A 2 は参照曲線と公差曲線の間が存在し、A 2 が滑らかに接する参照曲線の接点を次の補間点 q_m' とする(図1の(e))。

ステップ4: $q_m = q_m'$ として、ステップ1に戻る。

【0013】

凸区間の近似方法

$z_r(q)$, $z_t(q)$ の凸区間を $\{q \mid [q_s, q_f]\}$ とし、区間 $\{q \mid [q_s, q_f]\}$ の近似は以下に従う。ただし、 $z_r(q_s)$, $z_t(q_s)$ の曲率絶対値は、 $z_r(q_f)$, $z_t(q_f)$ の曲率絶対値よりも小さいとする。

$z_r(q)$ と $z_t(q)$ を入れ替えれば、凸区間を凹区間と見なせる。以下、凹区間の補間方法の手順に従う。

【0014】

凹から凸へと移る区間の補間方法

$z_r(q)$, $z_t(q)$ の凹から凸へと移る区間を $\{q \mid [q_{ccv}, q_{cvx}]\}$ とし、区間 $\{q \mid [q_{ccv}, q_{cvx}]\}$ の近似は以下に従う。ただし、 q_{ccv} は凹区間の点、 q_{cvx} は凸区間の点である。

$z_r(q_c)$ を通り、傾き $k_r(q_c)$ の線分が $z_t(q)$ と交わる点を p_1 とし、 $z_t(q_c)$ を通り、傾き $k_t(q_c)$ の線分が $z_r(q)$ と交わる点を p_2 とし、 p_1 と p_2 を結ぶ線分を L f とする(図2)。

区間 $\{q \mid [q_{ccv}, q_c]\}$ は凹区間であるので、この区間の近似は、上の L f を用いて凹区間の近似方法に従う。

区間 $\{q \mid [q_{cvx}, q_c]\}$ は凸区間であるので、この区間の近似は、上の L f を用いて凸区間の近似方法に従う。

【0015】

【実施例】

下記の数1に示すトロコイド中心曲線の凹区間 $\{q \mid [0, q_c]\}$ (凹点~変曲点) の円弧補間を実施した。

【0016】

【数1】

$$z(q) = (-16 \sin(q) + 100 \sin(q/6), -16 \cos(q) + 100 \cos(q/6))$$

【0017】

許容公差を 0.02、0.015、0.01、0.0022 と、少しずつ厳しくしていったときの補間点と近似線をそれぞれ図3、図4、図5、図6に示す。図3に示すように、許容公差が 0.02 mm のときは一つの円弧と一つの線分で補間を行っており、図4に示すように、許容公差が 0.015 mm のときは二つの円弧と一つの線分で補間を行っており、図5に示すように、許容公差が 0.01 mm のときは三つの円弧と一つの線分で補間を行っており、図6に示すように、許容公差が 0.0022 mm のときは四つの円弧と一つの線分で補間を行っている。このように、公差が厳しくなるにつれ、近似円弧の数が増えていく。いずれの場合も、隣り合う円弧間で滑らかに接続し、許容公差の範囲内にあり、参照曲線と滑らかに接続していることが確認できる。

【0018】

次に、下記の数 2 に示すトロコイド平行曲線の凹から凸へと移る区間 $\{q \mid [0, 30\pi/29]\}$ (凹点～凸点) の円弧補間を実施した。許容公差を 0.5 としたときの接点と近似線を図 7 に示す。

【0 0 1 9】

【数 2】

$$z_r(q) = (x_r(q), y_r(q))$$

$$x_r(q) = 123 \sin(q/30) \cdot 3 \sin(q) \cdot 9/2(\sin(q/30)/30 \cdot \sin(q)/41) / D_r$$

$$y_r(q) = 123 \cos(q/30) \cdot 3 \cos(q) \cdot 9/2(\cos(q/30)/30 \cdot \cos(q)/41) / D_r$$

$$D_r^2 = (\cos(q/30)/30 \cdot \cos(q)/41)^2 + (\sin(q/30)/30 \cdot \sin(q)/41)^2$$

10

【0 0 2 0】

【発明の効果】

本発明は上記のように構成されているので、つぎのような効果を奏する。

(1) 本発明によれば、与えられた曲線を補間するにあたり、許容公差を最大限に活用するように滑らかに接続する近似円弧が生成されるので、許容公差の条件を満たし、かつ、補間点の数を少なくすることができ、能率的な補間を実現することができる。

(2) 公差の許容量を最大限に活かし、少ない補間点で能率的な補間が実現できることから、数値制御装置、設計支援装置、解析支援装置の精度と処理速度を同時に高く保つことができる。

20

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施の形態による曲線補間方法（凹区間の近似方法）を説明するための線図である。

【図 2】本発明の実施の形態による曲線補間方法（凹から凸へと移る区間の補間方法）を説明するための線図である。

【図 3】本発明の実施例（トロコイド中心曲線の凹区間の円弧補間、許容公差 = 0.020 [mm]）の結果を示す線図である。

【図 4】本発明の実施例（トロコイド中心曲線の凹区間の円弧補間、許容公差 = 0.015 [mm]）の結果を示す線図である。

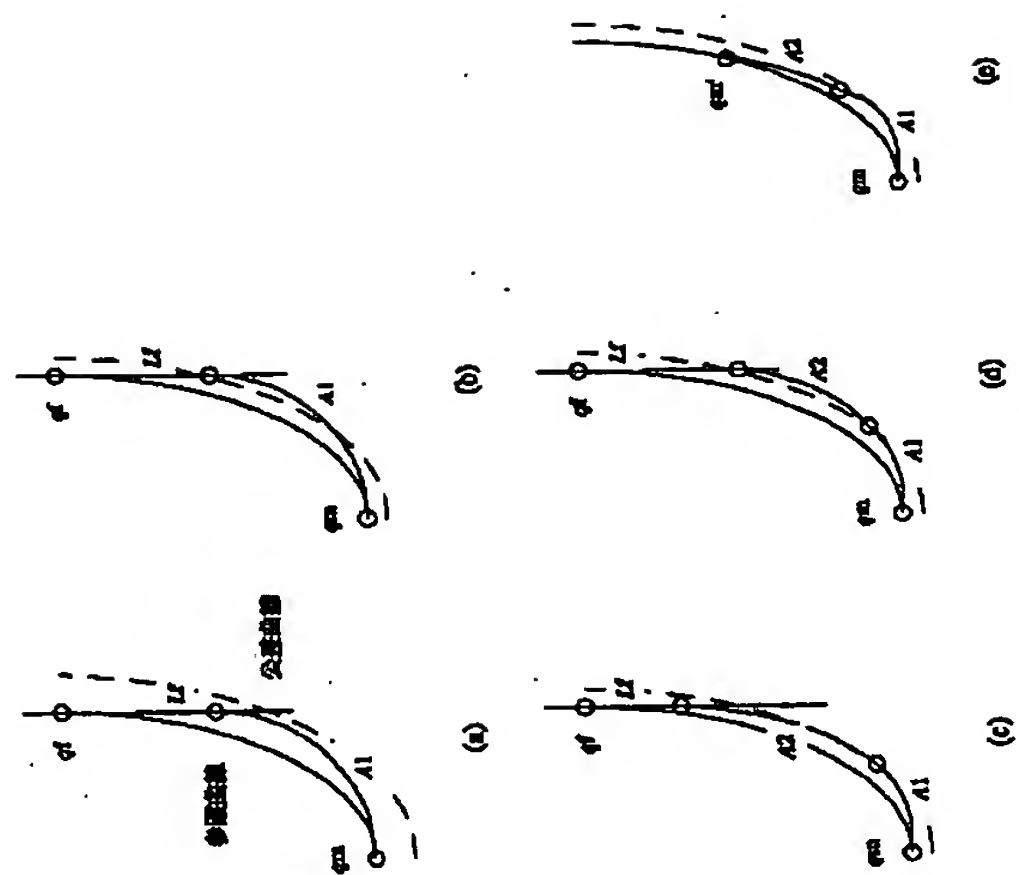
30

【図 5】本発明の実施例（トロコイド中心曲線の凹区間の円弧補間、許容公差 = 0.010 [mm]）の結果を示す線図である。

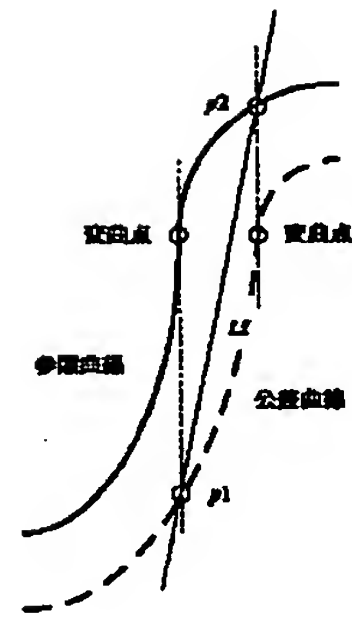
【図 6】本発明の実施例（トロコイド中心曲線の凹区間の円弧補間、許容公差 = 0.0022 [mm]）の結果を示す線図である。

【図 7】本発明の実施例（トロコイド平行曲線の凹から凸へと移る区間の円弧補間、許容公差 = 0.5 [mm]）の結果を示す線図である。

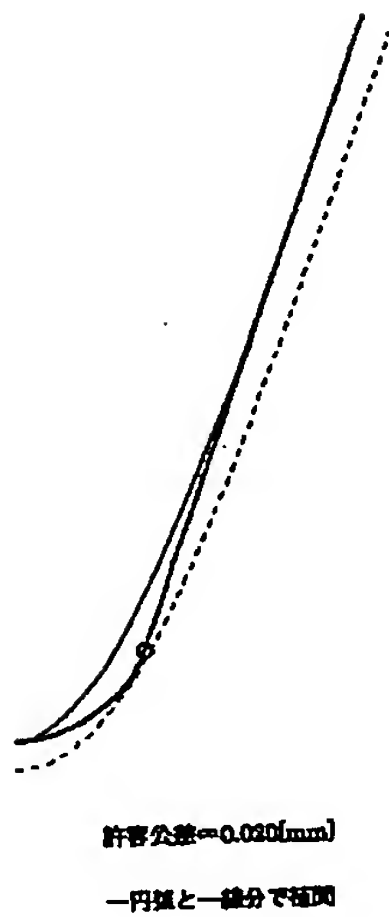
【図 1】



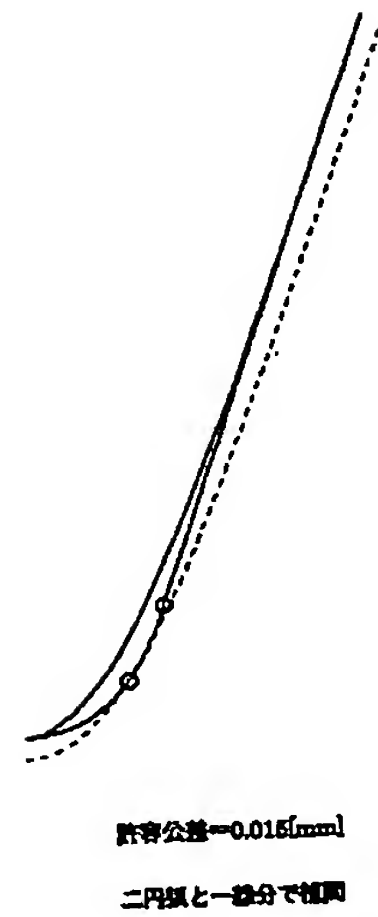
【図 2】



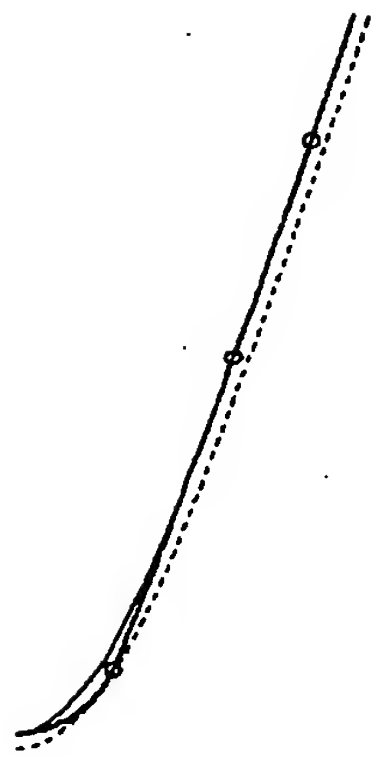
【図 3】



【図 4】

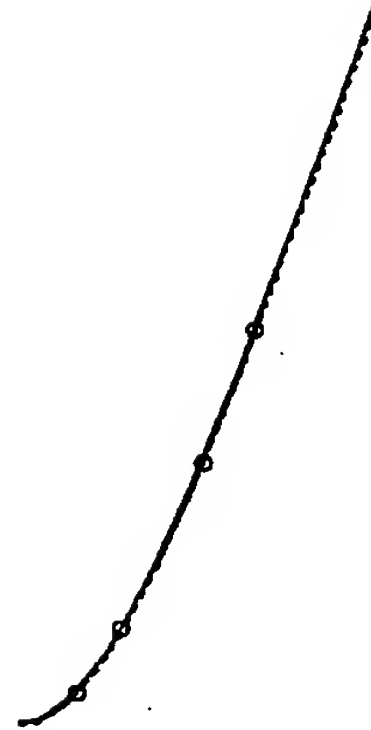


【図 5】



許容公差=0.010[mm]
三円弧と一分で補間

【図 6】



許容公差=0.0022[mm]
四円弧と一分で補間

【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 目黒 昇

兵庫県明石市川崎町 1 番 1 号 川崎重工業株式会社明石工場内

(72)発明者 安達 茂雄

兵庫県明石市川崎町 1 番 1 号 川崎重工業株式会社明石工場内

(72)発明者 高原 周平

兵庫県明石市川崎町 1 番 1 号 川崎重工業株式会社明石工場内

F ターム(参考) 5B046 FA04 FA12

5H269 AB01 AB19 AB33 BB03 BB05 RB14